

基于小波变换和对块零树编码压缩方法

闫敬文¹, 周爱升²

(1. 厦门大学电子工程系, 福建厦门 361005, 深大电话有限公司, 广东深圳 518026)

摘 要: 本文提出基于小波零树的对块零树压缩编码方法. 该方法即具有小波零树压缩编码高压缩比、宜于实时实现的特点, 同时具有编码/解码速度快, 易于实时传输等优点, 可广泛地应用于各种低码率传输应用中.

关键词: 小波变换; 数据压缩; 零树编码; 对块零树编码

中图分类号: TN919.81 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2002) 08-1160-03

A Compression Method with Wavelet Transformation and Biblock Zero Tree Coding

YAN Jing-wen¹, ZHOU Ai-sheng²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China; 2. Shenda Tel. Ltd. Shenzhen, Guangdong 518026, China)

Abstract: A Biblock Zero Tree compression Coding (BZTC) method, based on wavelet Zero Tree compression Coding (ZTC), is represented. Because this method have characters of ZTC's high compression ration, real time implementing simply, and have an advantage of higher coding/decoding speed, real time transmission conveniently, it can be applied in the fields of variety of lower code transmission applications.

Key words: wavelet transformation; data compression; zero Tree coding; biblock zero tree coding

1 引言

数据压缩是信息处理和传输中的关键技术, 已被广泛应用于视频传输、网络多媒体通信、传真各种业务中. 数据压缩可分为有损和无损压缩. 有损压缩在信息量大, 且传输带宽受限时被采用. 它通过数据变换, 用函数基映射并对变换后的数据进行编码. 子带或小波变换分解以其去象素间的相关性、能量能集中于一些系数上、它们的多率/多尺度的结构和允许应用匹配每个频带的统计性和人的视觉特征的有效编码方法, 成为图像编码的强有力工具. 数据压缩的基本目的是减少存储空间和传输的码流位率, 并保持可靠的信任度或图像的质量. 矢量量化是一种常见且行之有效的压缩编码方法, 可把分解的信号转换成能够利用带内和带外相关性和高维矢量空间分维灵活性的位率. 1987年Mallat巧妙地 将计算机视觉领域的多尺度分析的思想引入到小波分析中, 小波函数的构造及信号按小波变换的分解和重构, 并将这种算法应用于图像的分解与重构, 这就是现在应用著名的Mallat算法. 与此同时, Daubechies构造了具有有限紧支集的正交小波基^[1], 通过双尺度方程可以得到尺度函数和小波函数. 通过对小波母函数按一个确定数的伸缩平移, 获得小波基函数, 可实现对模拟和数字信号小波分解与重建. 现在通常采用双正交小波变换进行数据压缩, WT+VQ的图像压缩方法已被应用于数字图

像压缩^[7, 10]. 但矢量量化需要进行码本训练和码字匹配, 运算量大使效率下降, 并且针对不同的图像都要求进行码本训练, 这在实际应用中受到了限制. 四元树矢量量化即具有矢量量化压缩编码的优点, 同时标量量化运算简单的特点, 可极大地提高了编码效率, 可应用于中等复杂度的数据压缩^[9]. 而小波零树方法(EZW)具有易于硬件并行实现和控制压缩率或失真率等优点, 已经被广泛应用于视频图像数据压缩中^[5, 8]. 但是EZW方法对其对应的每一个小波零树进行多次预测编码, 使效率降低. 后来又有人提出了块零树压缩编码方法, 使空间相关性好的图像压缩效率得以大大提高. 但对于相关性一般或较差的图像数据, 压缩效果较差, 甚至不能应用此方法进行压缩. 针对上述编码中存在EZW方法的效率降低和块零树压缩编码方法的压缩效果差的问题, 根据块截短编码能够保持突出边缘的特点和块零树压缩编码方法的高效率, 本文提出了块截短编码和块零树压缩编码相结合的对块零树编码方法, 有效地克服了块截短编码和块零树编码的不足.

2 短时双正交小波变换

小波是由单一函数 ϕ 的扩展平移产生的函数:

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

这里 t 是一个一维变量, 母小波 ϕ 满足:

$$(1) \int \phi(x) dx = 0, \text{ 具有振荡性.}$$

$$(2) \int |\Psi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty, \Psi(\omega) \text{ 是 } \phi \text{ 的付氏变换.}$$

小波变换的高频部分对应 $a < 1$ 或窄的宽度, 而小波变换的低频部分对应 $a > 1$ 或较宽的宽度. 离散小波变换的小波分解^[1]如下:

$$f = \sum C_{m,n}(f) \Psi_{m,n} \quad (2)$$

这里 $a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m, m, n \in Z, a_0 > 0, b_0 > 0$.

当 $a_0 = 2, b_0 = 1$ 时, $\Psi_{m,n}$ 是正交基, 重构过程如下:

$$C_{m,n}(f) = \langle \Psi_{m,n}, f \rangle = \int \Psi_{m,n}(x) f(x) dx \quad (3)$$

这个算法可根据(3)式实现:

$$\begin{cases} C_{m,n}(f) = \sum_k g_{2n-k} a_{m-1,k}(f) \\ a_{m,n}(f) = \sum_k h_{2n-k} a_{m-1,k}(f) \end{cases} \quad (4)$$

这里 $g_i = (-1)^i h_{-i+1}, h_n = 2^{1/2} \int \phi(x-n) \phi(2x) dx$. 实际上 $C_{m,n}(f)$ 是 f 在 V_m 空间下的映射系数. 如果函数 f 是给定的样本形式, 本算法可以看作由一个高通滤波器和一个低通滤波器构成的子带编码. 这是因为高通滤波器和低通滤波器取代了互为正交的小波基, 在实际应用时的重建过程如下:

$$a_{m-1,l}(f) = \sum_n [h_{2n-l} a_{m,n}(f) + g_{2n-l} C_{m,n}(f)] \quad (5)$$

双正交小波变换是最适合数据压缩的变换之一, 它的双尺度方程是:

$$\phi(x) = \sum_n h_n \phi(2x-n), \tilde{\phi}(x) = \sum_n \tilde{h}_n \tilde{\phi}(2x-n) \quad (6)$$

如果这两个滤波器的响应是有限冲激响应, 它的紧支撑小波是:

$$\psi(x) = \sum_n g_n \phi(2x-n), \tilde{\psi}(x) = \sum_n \tilde{g}_n \tilde{\phi}(2x-n) \quad (7)$$

重构的函数为 $f = \sum_{m,n} \langle \psi_{m,n}, f \rangle \tilde{\psi}_{m,n}$, 它必须满足 $\sum_n h_n = 2^{1/2}, \sum_n (-1)^n h_n = 0$, 并且满足 $\sum_n \tilde{h}_n = 2^{1/2}, \sum_n (-1)^n \tilde{h}_n = 0$.

根据镜像滤波器的关系, g 和 \tilde{g} 可以确定出.

3 对块零树编码原理

块截短编码是一种较为常用的、且是唯一能对突变边缘有保护作用的压缩编码方法. 但压缩比是固定, 编码速度快, 压缩效率较低. 而小波零树预测和小波树矢量量化压缩编码方法具有较高的压缩效率, 但编码速度较低. 具体细节请参考文[5,7]. 对块零树预测编码原理如图1所示. 假设三级小波金字塔分解后低频子图像一区域经块截短编码确定为区域1(黑色)和区域2,3,4(灰色).

按照小波变换各级分解各子图像的时间和空间对应关系, 构造出黑色区块零树和灰色区块零树如图1(b),(c). 由于黑色区块零树和灰色区块零树可以视作是由一个块零树分割成的, 故在本文中称之为对块零树. 而低频区域分割可采用块截短需要传送二均值区域, 四元树分割及区域合并. 图1中的分割形状为理想条件下情况, 也可能是任意形状, 可以用 Bimap 格表示. 由于传送只是低频 Bimap 格, 码流开销也不会

大. 而其它子图像 Bimap 格可由各子图像之间对应关系确定. 一旦低频子图像黑色区块和灰色区块确定后, 对应的块零树也就随之确定. 各级小波分解子图像空间对应区域如图2(a)所示, 下面具体说明各级子图像间 Bimap 格尺寸关系. 假定各 Bimap 格长和宽分别为 $\{x_i, y_i: JK_{ii}; J, K = L, H, i = 1, 2, 3\}$, 各子图像间的 Bimap 格长和宽具体关系式为

$$\begin{cases} x_{i-1} = 2x_i \\ y_{i-1} = 2y_i \end{cases}, JK_{ii}; J, K = L, H, i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

可见各级子图像本级 Bimap 格长和宽是下一级的二倍, 由此可知只需要传送数据量最小低频子图像中的 Bimap 格后, 各子图像的 Bimap 格也就可以确定. 本研究中采用块截短区域分割法, 具体步骤如下: (1) 将低频子图像分割成大小为 $n \times n$ 的子块, n 的选择可根据图像复杂度确定. 对于相关性差的图像, n 可选择小一些. 本研究中选择为 4×4 . (2) 假设图像经块截短编码时可分成 1, 2, 3, 4 四个区域, 而 2, 3, 4 三个区域具有分布相近, 故用灰色表示. 这样就吧一个子块分成了黑色和灰色两个区域. (3) 按照已经分成的黑色和灰色区域, 进行各自块零树编预测码多次扫描. (4) 如果 $n \times n$ 大小的子块非常接近, 不进行块截短编码分割, 直接采用块零树预测编码进行数据压缩.

小波树各子图像对应关系和具体预测编码扫描顺序如图2所示. 可以理解为一个三级小波分解后一个小波树(8×8 个象元)构成及预测编码扫描顺序, 类似于 JPEG 中的 Zigzag 扫描. 本研究中块小波树可为这样单个树的倍数, 设置块门限来进行处理, 处理过程完全与单个树处理过程完全相同.

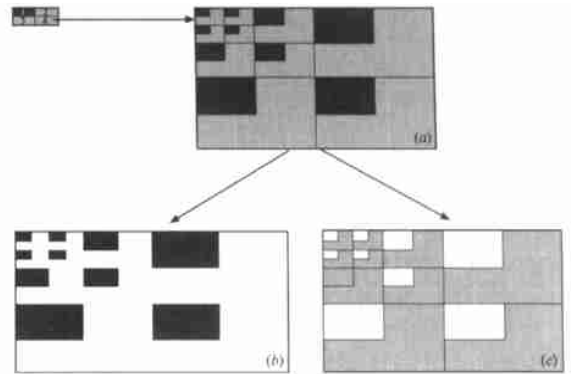


图1 对块零树原理. (a)按三级小波变换后抽取出低频子图像(2×2), 形成对应的 16×16 数据组; (b)根据块截短编码原理高于低频子图像均值的块零树(黑色); (c)根据块截短编码原理低于低频子图像均值的块零树(灰色)

4 实验结果和结论

本文提出的压缩算法分别对不同复杂度, 大小为 256×256 象元的 Lena, Woman 和 Tree 图像进行了实验研究. 实验结果如图3所示. 对于不同的复杂度的数据源压缩效果也有较大的差别. 本研究中的结果没有对误差图像进行编码传输. 如果对误差图像进行编码传输, 可使 PSNR 提高, 而 CR 将有所下降. 小波金字塔分解次数取 3 为宜. 小波金字塔分解次数太少, 预测编码也不十分理想. 若小波金字塔分解次数过多, 因

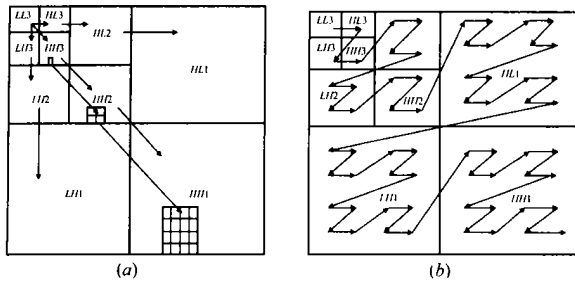


图 2 (a) 小波树结构不同级和方向中的像元对应关系;
(b) 64 维小波树编码扫描顺序

为对 3 次以上低频子图像分解时, 能量已经相当集中, 失去小波变换的意义, 预测编码效果较差, 也影响运算速度. 本研究成果适于高压压缩比或低码率传输要求的系统中, 特别适合实时实现并行处理要求. 同时也可以对 PSNR 和 CR 进行控制, 达到保证传输图像质量的目的. 该算法可完全应用于各种静止图像压缩. 再加上消除时间相关性的运动预测, 也用于视频图像实时压缩传输, 可以进一步提高压缩比. 在低频子图像中提取运动预测的运动矢量研究工作正进行中, 这也是今后研究工作一个重要部分.

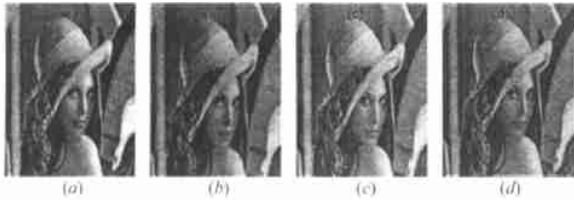


图 3 (a) 原图像; (b) 三次小波分解三次扫描, 峰值信噪比为 34.78dB, 压缩比为 28.6; (c) 二次小波分解, 三次扫描峰值信噪比 24.68dB, 压缩比 28.33; (d) 三次小波分解, 5 次扫描, 峰值信噪比 36.51dB, 压缩比 25.45 倍

由图 3 还可以看出, 在没有对剩余误差进行编码传输时, 压缩效果略有下降. 由于采用了块截短编码计算出的对块零预测编码, 高压压缩比后的重建图像没有“方块”效应, 而且压缩编码效率比小波零树编码也有较大的提高. 综上所述, 本文提出的对块零预测编码压缩编码方法可望在实时压缩中得以应用, 特别是在基于 Internet 和 MPEG-4 压缩高压压缩比的条件下应用. 经过进一步的运动补偿算法设计, 有望在运动图像压缩中取得突破.

参考文献:

[1] I Daubechies. Orthonormal bases of compactly supported wavelets [J]. Comm. Pure and Applied Math. , 1988, XLI(7) : 909- 996.

- [2] J.Z, M O Ahmad. Quadtree structured regionwise motion compensation for video compression [J]. IEEE Trans On Circuits and System for Video Technology, 1999, 9(5) : 808- 822.
- [3] 闫敬文, 等. 多光谱图像数据压缩方法 [J]. 光学学报, 1997, 17 (3) : 298- 303.
- [4] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A multispectral image data compression method based on KLT/DCT [J]. The Chinese Journals of Laser, 1997, B6(2) : 110- 116.
- [5] 闫敬文, 孙辉, 张圣华. 基于小波树矢量量化的快速压缩编码方法 [J]. 中国图像图形学报, 1997, 2(12) : 909- 913.
- [6] 闫敬文, 孙辉, 张圣华, 等. 基于 K-L 变换的多光谱数据压缩方法的统计特性分析 [J]. 光学精密工程, 1997, 5(5) : 30- 35.
- [7] J Shapiro. Embedded image coding using zero trees of wavelet coefficients [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41 (12) : 3445- 3462.
- [8] 闫敬文. 采用小波变换的三维光谱数据压缩方法 [D]. 长春: 长春光机所研究生部, 1997.
- [9] 闫敬文, 沈贵明, 刘劲松. 基于小波变换及四元树矢量量化的图像数据压缩算法 [J]. 厦门大学学报, 2000, 39(2) : 180- 184.
- [10] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A remote image compression method based by WT/VQ [J]. The Chinese Journals of Laser, 1997, B6(5) : 473- 480.
- [11] 闫敬文, 孙辉, 张圣华. 基于小波变换和矢量量化的遥感图像压缩方法 [J]. 中国图像图形学报, 1997, 2(10) : 730- 734.
- [12] 钱神恩, 闫敬文, 张圣华, 等. 基于谱特征矢量量化快速压缩编码方法 [J]. 电子学报, 1997, 25(5) : 11- 16.
- [13] 闫敬文, 沈贵明. 基于小波变换和光谱特征矢量量化快速压缩编码方法 [J]. 已被《遥感学报》录用.

作者简介:



闫敬文 男, 1964 年 7 月生于吉林省磐石市, 副教授, 1987 年 7 月毕业于吉林工业大学电子工程系, 获工学学士学位, 1992 年毕业于中国科学院长春地理所, 获地图学与遥感理学硕士学位, 1997 年在中国科学院长春光机所应用光学国家重点实验室获得理学博士学位, 现在厦门大学电子工程系任教, 主要研究领域: 数字信号处理、小波变换理论和应用、光学遥感图像数据压缩和分类、阵列天线信号处理, 已在国内各种刊物发表论文四十多篇.